Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy

OPEN ACCESS JOURNAL

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران
سال سی و دوم، شمارهٔ سوم، پاییز ۱۴۰۳، از صفحهٔ ۵۰۹ تا ۵۲۴

کانی‌شناسی و خاستگاه کانی‌زایی آنتیموان در معادن سفیدابه و حیدرآباد، پهنه جوش خورده سیستان

مهدی کوهساری[*]، محمد بومری، ساسان باقری

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۹/۴، نسخه نهایی: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴)

چکیده: معادن آنتیموان سفیدابه و حیدرآباد در شمال غرب زاهدان در پهنه جوش خورده سیستان واقع هستند. واحدهای سنگی منطقه شامل مجموعه افیولیتی کرتاسه، توالی فلیش ائوسن، کنگلومرای الیگوسن و سنگ‌های آذرین حدواسط الیگوسن هستند. کانه‌زایی آنتیموان به صورت رگه‌های کوارتز-استیبنیت در کنگلومرای الیگوسن در راستای یک پهنه گسلی رخ داده است. کانی‌های سولفیدی درونزاد استیبنیت و کمی پیریت هستند. کانی‌های برونزاد هماتیت، گوتیت، لیمونیت، استیبکونیت و سنارمونتیت هستند. انواع اصلی دگرسانی شامل سیلیسی، کربناتی و آرژیلیک هستند که پیرامون رگه‌ها رخ داده‌اند و بیشتر با کانی‌های کوارتز، کلسدوِن، رسی و کلسیت مشخص می‌شوند. بافت‌های رایج کانسنگ شکافه پرکن و برشی هستند. ساختارهای گل کلمی و شانه‌ای و بلورهای استیبنیت تیغه‌ای و سوزنی شکل در مقیاس‌های میکروسکوپی و مزوسکوپی نیز دیده می‌شوند. سولفیدهای درونزاد اصلی رگه‌ها با محلول‌های گرمابی در شکستگی‌ها و گسل‌ها تشکیل شده‌اند. نتایج ریزدماسنجی سیال های درگیر دربلورهای کوارتز نشان می‌دهد که دمای همگن‌شدگی بین ۱۳۰ تا ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد و شوری از ۴ تا ۵/۶۸ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر است. این مقادیر بیشتردر گستره کانسارهای فراگرمایی قرار می‌گیرند. این مجموعه کانیایی، انواع دگرسانی و بافت کانسنگ نشان می‌دهد که کانی‌زایی در معادن سفیدابه و حیدرآباد از نوع فراگرمایی سولفیدشدگی پایین است که با گسل‌های راستالغز کنترل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *کنترل کننده‌های ساختاری؛ کانی‌زایی آنتیموان؛ معادن سفیدآبه و حیدرآباد؛ پهنه زمین‌درز سیستان.*

مقدمه

معادن آنتیموان سفیدابه و حیدرآباد در استان سیستان و بلوچستان در ۲۸۰ کیلومتری شمال غرب زاهدان واقع هستند. ذخایر اصلی شناخته شده آنتیموان در جهان بیشتر در بولیوی، چین، مکزیک، آفریقای جنوبی و تاجیکستان قرار دارند [۱، ۲]. ذخایر آنتیموان از پرکامبرین تاکنون در همراهی با سنگ‌های متنوعی از سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی تشکیل شده‌اند. کانسارهای آنتیموان بیشتر از نوع گرمابی هستند. ذخایر گرمابی آنتیموان بیشتر از نوع رگه‌ای و در پهنه‌های برشی، صفحه‌های گسل‌های راستا لغز و رانده تشکیل می‌شوند که نشان‌دهنده کنترل ساختاری آنهاست [۳، ۴]. محلول‌های گرمابی نقش مهمی در تحرک و جابجایی آنتیموان و سرانجام تشکیل آن دارند [۵]. کانسارهای آنتیموان ایران بیشتر درغرب و شمال غربی ایران، ایران مرکزی و شرق ایران واقع هستند. استان سیستان و بلوچستان نیز از مناطق با امکان بالای پی‌جویی ذخایر آنتیموان هستند. بیشترین کانسارها و نهشته‌های معدنی آنتیموان در استان سیستان و بلوچستان در پهنه جوش خورده سیستان از نهبندان تا جنوب زاهدان دیده می‌شوند که شامل شورچاه و توزگی، درگیابان، سفید سنگ، بائوت، چاه بریش، لخشک، حیدرآباد، ژوژ و سفیدابه هستند. بررسی‌های پراکنده‌ای پیرامون زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، شکل کانی‌زایی، دگرسانی و خاستگاه این ذخایر انجام شده است [۶-۱۱]. برخی پژوهش‌ها نیز به ویژه معادن سفیدابه و

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۶۷۶۶۸۹۳، نمابر: ۰۵۴۳۳۴۴۶۵۶۵، پست الکترونیکی: Mehdi.k.makran@gmail.com

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]

حیدرآباد را بررسی کرده‌اند [۱۱-۱۸]. هرچند در گزارش‌ها کانی‌زایی آنتیموان سفیدآبه و حیدرآباد از نوع گرمابی معرفی شده‌اند، ولی خاستگاه محلول‌های گرمابی و مواد حل شده و عوامل کنترل کننده آنها بررسی نشده است. در این پژوهش، افزون بر شناسایی کامل زمین‌شناسی، مشخصه‌های ساختاری، ساخت و بافت، سبک کانی‌زایی، دگرسانی، خاستگاه و ویژگی‌های زمین‌شیمیایی محلول‌های گرمابی بررسی شده است.

روش بررسی

نخست پژوهش‌های پیشین مرور شد، نقشه‌های مقدماتی تهیه و برای بررسی‌های صحرایی برنامه‌ریزی گردید. طی ۲۰ روز بازدید صحرایی در گستره‌های مورد بررسی برداشت‌های زمین‌شناسی، ساختاری و نمونه‌برداری انجام شد. در مجموع، تعداد ۱۰۰ نمونه مقطع نازک، صیقلی و نازک صیقلی تهیه و در دانشگاه سیستان و بلوچستان با میکروسکوپ قطبشی عبوری (برای کانی های شفاف و نیمه شفاف) و بازتابی (برای کانیهای کدر) بررسی شدند. برای سیال های درگیر، تعداد ۱۰ مقطع دو برصیقلی بررسی شد که فقط ۳ مقطع سیال درگیر قابل اندازه گیری داشتند. بررسی های ریزدماسنجی در مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران با دستگاه گرم‌کننده و سردکننده لینکام مدل THMS 600 ساخت انگلستان انجام شد. گستره دمایی این دستگاه یا صفحه از ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد است و واسنجی آن در گرمایش با دقت ^{o}C ۰٫۶± با نیترات سزیم با نقطه ذوب ^{o}C ۴۱۴ و در انجماد با دقت ^{o}C ۰٫۲± و با ماده استاندارد ان-هگزان با نقطه ذوب ۹۴٫۳ - درجه سانتی‌گراد انجام شد. نمودارهای مناسب نیز با نرم‌افزار SPSS و اکسل رسم شدند.

زمین‌شناسی

معادن آنتیموان سفیدابه و حیدرآباد در پهنه جوش خورده سیستان در یک قاچ زمین‌ساختی به نام دوفازه راستا لغز سفیدابه واقع هستند. پهنه جوش‌خورده سیستان از دو مجموعه افیولیتی رتوک در شرق و نه (نهبندان) و حوضه رسوبی سفیدآبه در بین آنها تشکیل شده است که معادن یاد شده در حوضه رسوبی سفیدابه واقع هستند [۱۹]. پهنه جوش خورده سیستان محل اقیانوس نئوتتیس در شرق ایران بوده که بین قطعه لوت و افغان واقع بوده است. حرکت همگرایی قطعه‌های لوت و افغان منجر به بسته شدن این اقیانوس، چین خوردگی، گسل خوردگی، فعالیت ماگمایی و دگرگونی درآن شده است. یکی از سیماهای برجسته پهنه جوش خورده سیستان وجود گسل‌های راستالغز راستگرد و روراندگی با روند شمال غرب-جنوب شرق و گروه دوم از گسل‌های عادی شمال شرق- جنوب غرب است. از نظر ساختاری، منطقه مورد بررسی بین دو پهنه گسله-برشی غرب آساگی و شرق نهبندان (نه) قرار دارد و گسل‌های منحنی‌شکل متعددی باعث ساختارهای دوفازی شده‌اند [۲۰]. توالی و واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی شامل توالی افیولیتی کرتاسه و غیره، سنگ‌های رسوبی رخساره فلیش ائوسن، واحدهای تخریبی قاره‌ای شامل کنگلومرای برشی شده الیگوسن هستند (شکل ۱). این واحدها دچار نفوذ و خروج سنگ‌های آذرین به صورت گدازه، آذرآواری و شبه آتشفشانی، به ویژه در شرق منطقه شده‌اند که به صورت دایک، سیل و استوک رخنمون دارند.

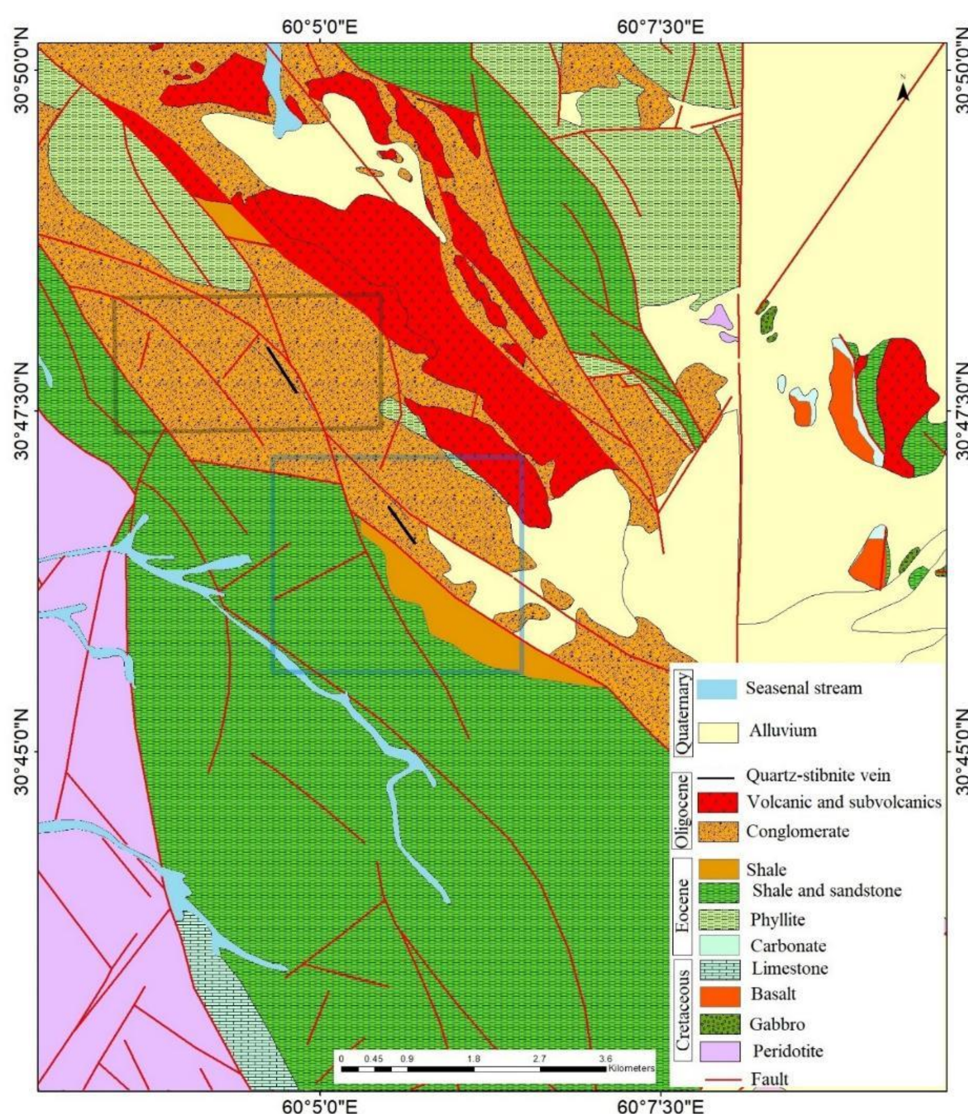
واحد افیولیتی: این واحد در غرب منطقه اکتشافی واقع است و قدیمی‌ترین واحد سنگی موجود در منطقه به شمار می‌رود و وابسته به کرتاسه پسین است. بخش شرقی این واحد بیشتر شامل هارزبوژیت سرپانتینی شده و لیستونیتی است که دارای رگه‌های متعددی از منیزیت و هونتیت هستند. مرز این واحد در شرق با ماسه‌سنگ و شیل توربیداتی گسله است. این واحد در بخش غربی بیشتر به صورت یک آمیزه افیولیتی با مرزهای کاملاً گسلی است (شکل ۱).

واحد توربیداتی: این واحد گسترده‌ترین واحد سنگی موجود در منطقه و وابسته به ائوسن است که در بعضی از مناطق به شکل تناوبی از لایه‌های چین‌خورده و منظم شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا هم در غرب و هم در شرق رگه معدنی گسترش دارد و گسل‌های عرضی مکرر باعث جابجایی آنها شده‌اند (شکل‌های ۲ الف و ب). سنگ‌های این واحد در بخش شرقی رگه معدنی دچار دگرسانی بیشتری شده‌اند. این واحد در بعضی بخش‌ها به شدت دچار دگرشکلی و کجشدگی شده و چین‌های خوابیده، برگشته و ضخیم و باریک‌شدگی لایه‌ها در آن زیاد بوده که بیانگرعملکرد گسل روراندگی بر آن‌هاست.

واحد دگرگونی: واحد فلیش در بخش‌های شمالی و شرقی منطقه دچار دگرگونی ضعیفی شده است به طوری که شیل‌ها در آن به فیلیت و اسلیت تبدیل شده‌اند. این واحد به دلیل دگرسانی به رنگ زرد و قهوه‌ای دیده می‌شود و جهت‌یافتگی و تورق در آن زیاد است.

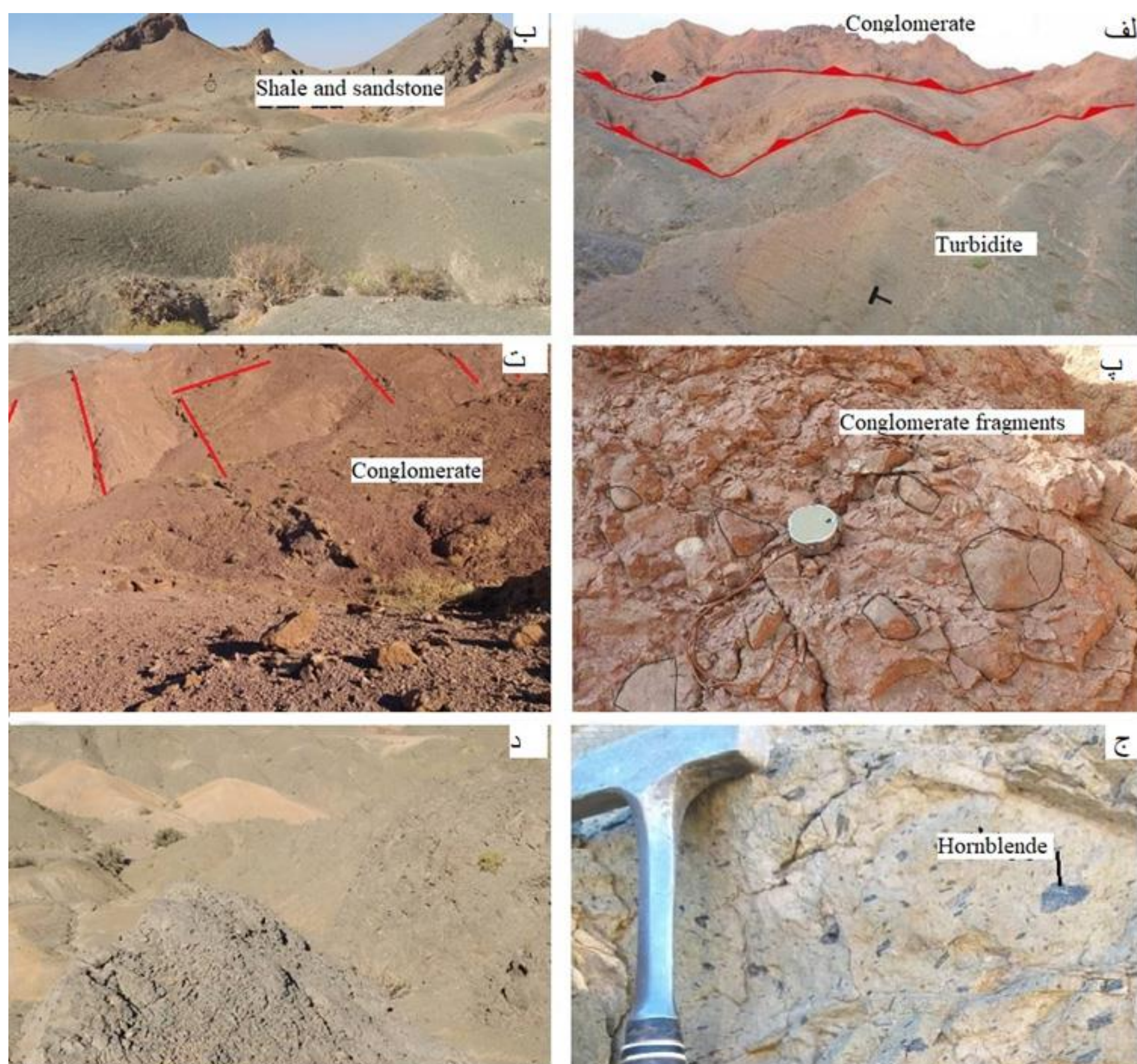
[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]

واحد کنگلومرایی الیگوسن: این واحد سنگ میزبان رگه معدنی است و گسترش زیادی دارد و مرز آن با واحد توربیداتی گسل رانده است (شکل ۲ الف). شیل، گل سنگ، لای سنگ، ماسه‌سنگ و سنگ آذرین گاهی به صورت میان‌لایه یا قطعه‌های مستقل در آن دیده می‌شوند. رگه‌های متعدد سیلیسی، سیلیسی- کربناتی و اکسید- هیدروکسید آهنی این واحد را قطع کرده‌اند (شکل ۲ ت). این واحد از قطعه‌های گرد و زاویه‌دار توربیدایتی چون شیل، ماسه‌سنگ و لای سنگ تشکیل شده است که می‌توان آن را به عنوان کنگلومرای نوع چندخاستگاهی در نظر گرفت (شکل ۲ پ). این واحد به دلیل دگرسانی و آغشتگی به اکسیدهای آهن بیشتر به رنگ قهوه‌ای و قرمز رخنمون دارد. در برخی بخش‌ها به دلیل چرخش محلول‌های آبگین، ساخت‌هایی چون داربستی و حتی لیزگانگ در آن دیده می‌شود. گسل‌ها و شکستگی‌های مزدوج که بیشتر با کلسیت پر شده‌اند در این واحد بسیار دیده می‌شوند (شکل ۲ ت). این واحدها اغلب چین‌خورده، گسله و دارای شیبی متغیر از ۴۵ تا حتی بیش از ۹۰ درجه به سمت جنوب غرب هستند.



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی-ساختاری گستره معادن آنتیموان سفیدابه و حیدرآباد و پیرامون آن (برگرفته از مرجع [۲۱]). چارگوش های سبز و آبی به ترتیب گستره کانسارهای آنتیموان حیدرآباد (شمالی) و سفیدآبه (جنوبی) را مشخص کرده‌اند.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]



شکل ۲ تصاویر صحرایی از واحدهای سنگی معادن آنتیموان سفیدابه و حیدرآباد، الف) واحد توربیدایتی با تناوب ماسه‌سنگ و شیل در فرودیواره که با مرز راندگی با شیب متفاوت زیر واحد برشی-کنگلومرایی در فرا دیواره ظاهر گردیده است (عکس رو به جنوب شرق)، ب) تناوب لایه‌های ضخیم شیل با لایه‌های سخت و مرتفع‌تر ماسه‌سنگ، (عکس رو به جنوب شرق)، پ) قلوه‌های به نسبت گردشده کنگلومرا در خمیره برشی که کل سنگ دوباره دچار خردشدگی زمین ساختی شده است، ت) دورنمایی از واحد کنگلومرایی که به شدت در معرض گسل‌های مزدوج بوده و این گسل‌ها با رگه‌های کربناتی و سیلیسی پرشده‌اند، ث) بافت پورفیری در آندزیت و حضور درشت‌بلورهای هورنبلند با رنگ سیاه در آنها، ج) نفوذ سنگ‌های آذرین در توربیدایت‌ها که میزبان رگه‌های کربناتی-سیلیسی و پوک سنگ سیلیسی هستند.

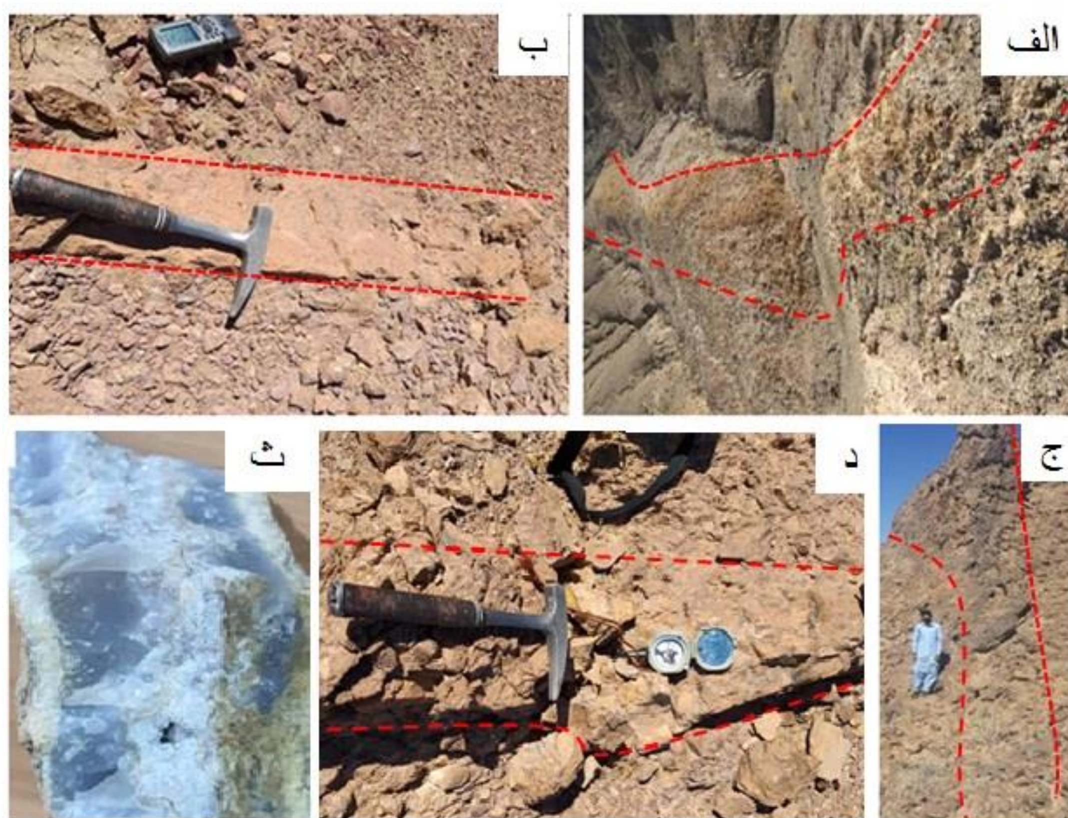
واحدهای آذرین: سنگ‌های آذرین الیگومیوسن در واحدهای قدیمیتر نفوذ کرده یا در سطح زمین فوران نموده‌اند (شکل ۲ ج). این سنگ‌ها به شکل گدازه، توف، دایک، سیل و استوک هستند و در بخش غربی منطقه یک نوار ماگمایی شمال‌غرب-جنوب شرق را تشکیل می‌دهند. سنگ‌های آذرین از نظر سنگ‌شناسی شامل دیوریت پورفیری، ریزدیوریت پورفیری و آندزیت هستند که بیشتر آنها بافت پورفیری دارند و بلورهای درشت آنها شامل پلاژیوکلاز و بلورهای هورنبلند هستند (شکل ۲ ث). این سنگ‌ها گاهی به دلیل فرایندهای گرمابی دچار دگرسانی شدیدی شده‌اند و در برگیرنده قطعه‌های گرد کوارتز به صورت پرشدگی حفره‌ها یا رگچه هستند.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]

کانی‌زایی و دگرسانی

کانی‌زایی در منطقه سفیدابه و حیدرآباد به شکل رگه‌ای است. نخستین بار این رگه‌ها با افراد محلی در رخنمون‌ها دیده شده و سپس توسط شرکت‌های مختلف پی‌جویی و استخراج گردیده اند. در حال حاضر به دلیل استخراج، شکل اصلی آن به هم خورده است. سنگ میزبان رگه ها بیشتر کنگلومرا و گاهی گل سنگ، ماسه‌سنگ و شیل است. بیشترین تراکم رگه‌ها در واحد کنگلومرا و نزدیک رگه استیبنیت و کوارتز-استیبنیت است. رگه‌های معدنی در منطقه مورد بررسی تنوع چشمگیری دارند و می‌توان آنها را به رگه‌های بدون کانی‌زایی و رگه‌های دارای کانی‌زایی تفکیک کرد.

رگه‌های بدون کانی‌زایی از نظر ترکیب و ساختار، روند، فراوانی و شیب تنوع بسیاری دارند. بعضی از رگه‌های بدون کانی‌زایی در ارتباط نزدیکی با سنگ‌های آذرین در شرق و شمال شرق منطقه مورد بررسی هستند. رگه‌های بدون کانی‌زایی از نظر ترکیب به رگه‌های سیلیسی-کربناتی دارای هاله دگرسانی (شکل ۳ الف)، رگه‌های کربناتی (شکل ۳ ب)، رگه‌های لیمونیتی-گوتیتی و رگه‌های سیلیسی - اکسید آهنی (شکل ۳ پ) و رگه های سیلیسی-کربناتی برشی شده بدون هاله دگرسانی (شکل ۳ ت) شامل رگه های سیلیسی که بخشی از آن ساخت آگاتی دارد (شکل ۳ ث) تقسیم شدند. گسترش این رگه‌ها در راستاهای شمال غربی-جنوب شرقی، شمال شرقی- جنوب غربی و شرقی-غربی است. بعضی از این رگه‌ها در عمق دارای کانی‌زایی آنتیموان و عناصر در ارتباط هستند. رگه سیلیسی-اکسید اهنی موازی با رگه استیبنیت گسترش دارد و یک کلید اکتشافی در منطقه مورد بررسی است.

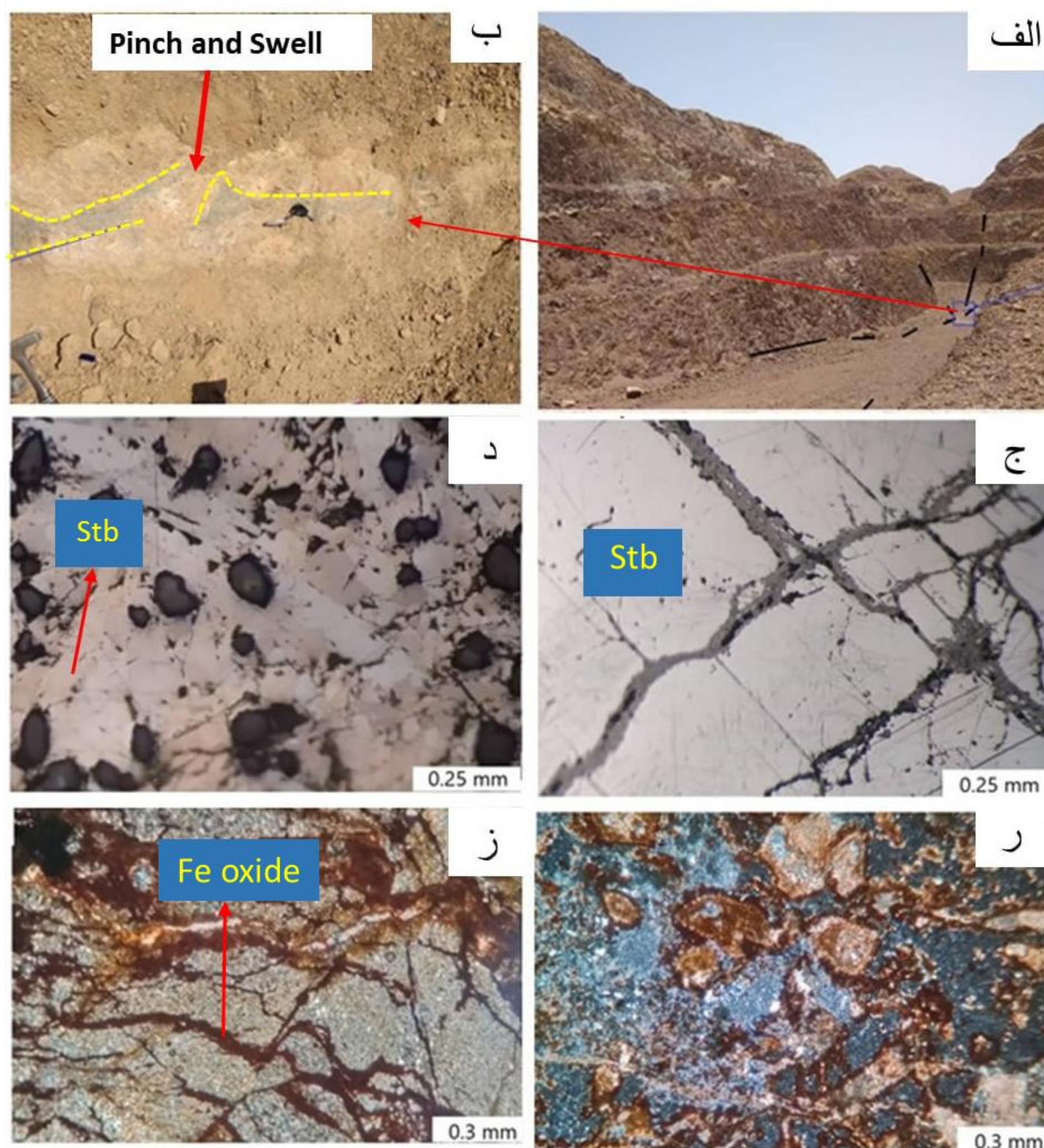


شکل ۳ تصاویر صحرایی از بعضی انواع رگه‌های بدون کانی‌زایی در برونزدهای معادن سفیدابه و حیدرآباد: الف) رگه سیلیسی-کربناتی دارای هاله دگرسانی کربناتی که سنگ‌های میزبان کنار آن به شدت دچار دگرسانی شده‌اند و دارای کلسیت‌های لوزی رخ درشت‌بلور، کوارتزهای بلوری و رگه‌های آگات هستند، ب) یک رگه کربناتی بدون هاله دگرسانی پ) لایه به شدت سیلیسی، کربناتی و اکسیدآهنی (دید به سمت شمال‌غرب)، ت) رگه کربناتی-سیلیسی بدون هاله دگرسانی مشخص که در مرکز آن منطقه‌بندی آگاتی وجود دارد و ث) نمایی از نمونه دستی سیلیسی (شامل کوارتز وکلسدوئن) که از رگه‌های نشان داده شده در تصویر ت برداشت شده است.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]

رگه‌های دارای کانه‌زایی معدود هستند و تنوع چندانی ندارند. در منطقه سفیدابه، یک رگه اصلی کوارتز-استیبنیت تا نزدیک به یک کیلومتردر راستای شمال غرب -جنوب شرق گسترش دارد. رخنمون‌هایی از این رگه با همین روند به سمت شمال غرب در گستره اکتشافی حیدرآباد نیز دیده می‌شود. ضخامت این رگه بسیار متغیر در گستره ۵ تا ۳۰ سانتی‌متر است. ضخامت رگه در طول آن تغییر کرده و حتی در بخش هایی کامل از راستای خود ناپدید می‌شود. این رگه کوارتز-استیبنیت و گسل‌های موازی آن بیشتر به سمت غرب تا جنوب غرب شیب دارند، در حالیکه شیب سنگ‌های میزبان به سمت شمال شرق است. راستای شیب رگه و مقدار آن در نقاط و اعماق مختلف متغیر است، به طوریکه شیب رگه از ۸۰ تا ۱۵ درجه تغییر می‌کند. جابجایی عرضی بسیاری در طول گسل رخ داده و باعث شده است که عرض گودال استخراج روباز در راستای رگه به بیش از حدود ۲۰ متر برسد (شکل ۴ الف). کانی‌زایی آنتیموان در یک پهنه گسلی و برشی واقع است که جابجایی‌های عرضی، طولی و عمودی در آن بسیار رخ داده است (شکل ۴ ب). رگه اصلی در بخش‌هایی دارای شاخه هایی با طول ۳ تا ۵ متر است که گاهی با آن حالت متقاطع دارند. همراه این رگه، ساخت‌هایی چون همبافتاری، پادبافتاری و همچنین باز و بسته شدن رگه دیده می‌شود. خردشدگی و برشی‌شدگی در رگه و پیرامون آن، به ویژه در فرادیوره شدید است و قطعه‌های برش با رنگ سفید مشخص هستند. کانی‌زایی در معادن سفیدابه و حیدرآباد را می‌توان به دو بخش درونزاد و برونزاد تقسیم نمود. کانی‌زایی درونزاد به صورت سولفیدی بوده و کانه سولفیدی اصلی آن استیبنیت است که مقدار جزئی پیریت همراه آن دیده می‌شود. استیبنیت به صورت توده‌ای و یا بلورهای مجزا در مرکز رگه سیلیسی با بلورهای کشیده و تیغه‌ای که گاهی شکسته و خرد شده هستند شکل گرفته است. بلورهای استیبنیت گاهی دارای رشد شعاعی نیز هستند.

بلورهای استیبنیت در زیر میکروسکوپ به شکل تیغه‌ای، ستونی و حتی دانه‌ای، در نور قطبیده صفحه‌ای (PPL) دارای رنگ سفید، چند رنگی و چند بازتابی و در نور قطبیده متقاطع (XPL) دارای ناهمسانگردی شدید و ماکل تیغه ای هستند (شکل‌های ۴ پ و ت). کانی‌زایی برونزاد به صورت اکسیدی و هیدروکسیدی رخ داده که از تجزیه و دگرسانی بخش سولفیدی ناشی شده است. کانی‌زایی برونزاد شامل اکسیدها و هیدروکسیدهای آنتیموان و همچنین سایر فراورده‌های برونزاد شامل هماتیت، گوتیت و لیمونیت، کانی‌های رسی و کلسیت است (شکل‌های ۲ ث و ج). از اکسیدهای آنتیموان رایج در معدن سفیدابه و حیدرآباد می‌توان به سن‌آرمونتیت، والنتینیت، سروانتیت و از هیدرواکسید های آنتیموان به استیبکونیت اشاره کرد. به طور کلی، بافت غالب کانسار شکافه پرکن است، اما بافت‌های کم دمای دیگری چون خوشه‌انگوری (گل کلمی)، پوسته‌ای، شانه‌ای، تیغه‌ای و سوزنی (رشته‌ای) نیز در مقیاس‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی در مناطق مورد بررسی دیده می‌شوند. بافت‌های برشی، خردشده و بافت کاتاکلاستیک نیز رایج هستند. دگرسانی‌های غالب در منطقه مورد بررسی شامل سیلیسی، کربناتی، آرژیلیک و اکسید آهنی هستند. دگرسانی سیلیسی اغلب همراه با رگه معدنی، هم چنین گاهی همراه با دگرسانی کربناتی و نیز به صورت کوارتزهای گرد شده درون سنگهای آذرین دیده می‌شود. سیلیسی‌شدن به شکل پرکننده حفره‌ها و رگچه‌ای در رگه و سنگ‌های میزبان کنار رگه رخ داده است و بیشتر با کوارتز و کلسدوئن مشخص می‌شوند (شکل ۴ ث). دگرسانی کربناتی نیز به شکل رگه، رگچه و پرکننده حفره‌ها و جانشینی رخ داده است (شکل ۴ ج). نزدیک به رگه، حجم کانی‌های رسی و سیلیسی به طور محلی افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. براساس نتایج پراش پرتوی ایکس(XRD) [۱۴]، کربناتیا شامل کلسیت، دولومیت، سیدریت و حتی آنکریت هستند. در منطقه مورد بررسی، دگرسانی اکسید و هیدروکسید آهنی نیز گسترش قابل ملاحظه‌ای دارد و با دگرسانی‌های سیلیسی و کربناتی و گاهی نیز به تنهایی دیده می‌شود که منجر به طیف گسترده ای از رنگ‌های زرد، قرمز و قهوه‌ای شده است (شکل ۴ ت).



شکل ۴ الف) تصویری از پیت معدنی روباز معدن آنتیموان سفیدابه که در آن روند رگه استیبنیت با خطوط مشکی نشان داده شده است، (دید به سمت جنوب)، ب) تصویری از رگه استیبنیت که باریک‌شدگی و ضخیم‌شدگی (ساختار باقلایی) را نشان می‌دهد، پ) تصویر میکروسکوپی (PPL) از بلورهای استیبنیت با رنگ روشن‌تر که شکستگی‌های آن با کانی‌های ثانویه آنتیموان پر شده است، ت) تصویر میکروسکوپی (XPL) از بلورهای استیبنیت دارای ناهمسانگردی، ث) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی‌های سیلیسی و کربناتی، ج) تصویر میکروسکوپی از گسترش اکسید وهیدروکسیدهای آهن در فضاهای خالی و شکستگی‌ها. (Stb= استیبنیت، Fe= آهن).

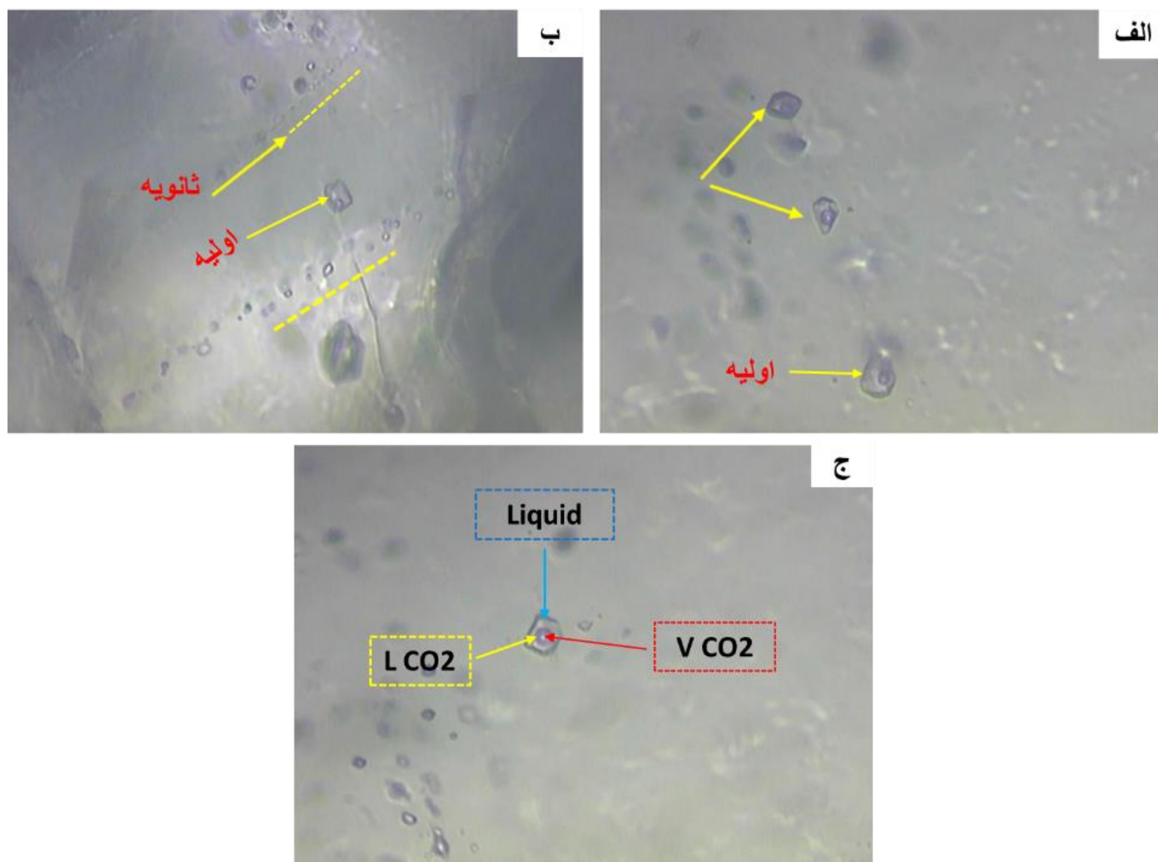
سیال های درگیر

سنگ‌نگاری

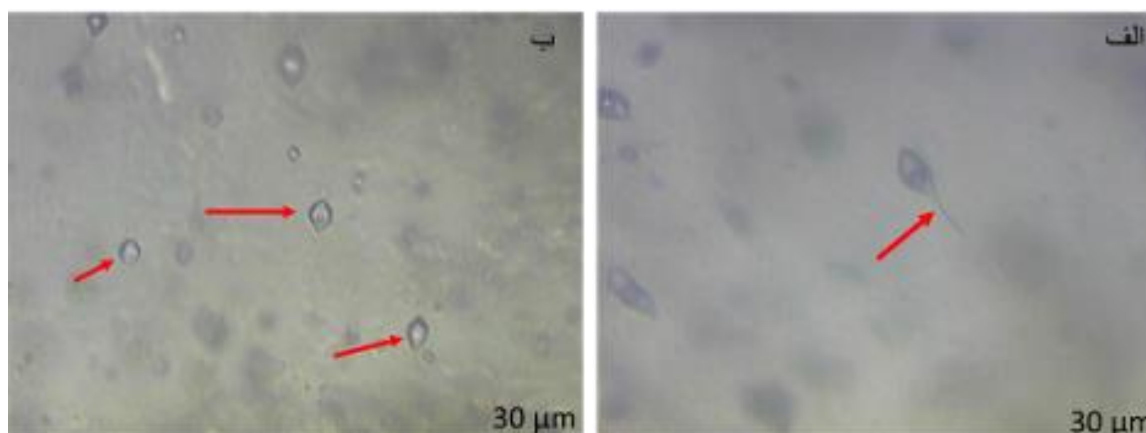
سنگ‌نگاری سیال‌های درگیر در رگه‌های کوارتزی معادن سفیدابه و حیدرآباد براساس تقسیم‌بندی‌های مراجع [۲۲، ۲۳]. انجام شد. بر این اساس، هر سه نوع سیال‌های درگیر (اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب) در بلورهای کوارتز دیده گردید. انواع اولیه شامل سیال‌های درگیر دوفازی غنی از مایع با یک فاز بخار و سیال‌های درگیر با محلول CO_2 هستند (شکل ۵). افزون بر این، انواع تک‌فازی مایع و گاز و دو فازی غنی از گاز نیز وجود دارند. سیال‌های درگیر ثانویه به صورت تک فازی و دو فازی در راستای شکستگی‌ها دیده می‌شوند. از نظر شکل ظاهری، سیال های درگیر به صورت بیضوی، عدسی، نامنظم، دوکی و شکل

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]

بلور منفی ششگوشی هستند (شکل ۶ ب). میانبارها اغلب ریز و برای بررسی دشوار هستند به طوری که اندازه بیشتر آنها کمتر از ۱۰ میکرون است. آن‌هایی که برای ریزدماسنجی انتخاب شدند، اندازه‌ای حدود ۷-۲۷ میکرون داشتند. از مهمترین پدیده‌های دیده شده در سیال های درگیر در بلورهای کوارتز معادن سفیدابه و حیدرآباد، پدیده‌ی باریک‌شدگی است (شکل ۶ الف).



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از سیال‌های درگیر در رگه‌های کوارتز از معدن سفیدابه: الف) سیال‌های درگیر اولیه دوفازی غنی از مایع (LV)، ب) سیال‌های درگیر اولیه دوفازی غنی از مایع (LV) و ثانویه، پ) سیال‌های درگیر اولیه CO_2 دار شامل مایع آبگین، مایع دی اکسید کربن (LCO_2)، گاز CO_2 (VCO_2) .



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی از سیال‌های درگیر در رگه‌های کوارتز از معدن سفیدابه، الف) پدیده‌ی باریک‌شدگی در سیال‌های درگیر، ب) شکل‌های نامنظم، دوکی و منفی بلور.

ریزدماسنجی سیال‌های درگیر

پس از انجام بررسی های سنگ نگاری و دیده شکل، اندازه، فراوانی و دیگر ویژگی‌های سیال های درگیر در نمونه‌ها و تعیین نوع آنها، ریزدماسنجی نمونه‌ها انجام شد. نخست سرمایش و سپس گرمایش برای سیال ها انجام شد. نتایج ریزدماسنجی در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده‌اند.

جدول ۱ نتایج ریزدماسنجی سیال‌های درگیر دوفازی (LV) در رگه‌های کوارتز از معدن سفیدابه (سامانه H_2O-NaCl، Te: دمای ذوب، Tmice: دمای ذوب آخرین نقطه یخ و Th : دمای همگن شدگی).

N	اندازه (µm)	Te (°C)	Tmice (°C)	شوری wt% NaCl	Th (°C)	چگالی gr/cm۳
۱	۱۲		-۳/۲	۵/۲۶	۱۸۲	۰/۹۲۶
۲	۸		-۳	۴/۹۶	۲۱۲	۰/۸۹۰
۳	۱۱		-۳	۴/۹۶	۲۴۳	۰/۸۵۰
۴	۱۲		-۳/۱	۵/۱۱	۳۰۲	۰/۷۶۱
۵	۲۳		-۴/۲	۴/۰۳	۱۸۵	۰/۹۱۴
۶	۱۰		-۲/۸	۴/۶۵	۲۶۰	۰/۸۲۳
۷	۱۰		-۳/۴	۵/۵۶	۱۸۹	۰/۹۲۰
۸	۱۰		-۳/۸	۶/۱۶	۲۲۱	۰/۸۸۸
۹	۱۰		-۱/۲	۲/۰۷	۱۴۳	۰/۹۴۲
۱۰	۱۱		-۳/۱	۵/۱۱	۱۶۸	۰/۹۳۹
۱۱	۸		-۳/۱	۵/۱۱	۲۷۹	۰/۷۹۸
۱۲	۹		-۳	۴/۹۶	۲۸۸	۰/۷۸۲
۱۳	۱۷		-۳/۲	۵/۲۶	۲۴۲	۰/۸۵۴
۱۴	۱۰	در گستره ۲۱- تا ۳۰- درجه سانتیگراد	-۱	۱/۷۴	۲۶۹	۰/۷۷۹
۱۵	۲۷		-۲/۲	۳/۷۱	۲۹۸	۰/۷۵۱
۱۶	۱۰		-۱/۸	۳/۰۶	۱۸۰	۰/۹۱۲
۱۷	۱۰		-۲	۳/۳۹	۲۰۵	۰/۸۸۶
۱۸	۱۵		-۱/۵	۲/۵۷	۳۷۰	۰/۵۸۵
۱۹	۱۲		-۱/۴	۲/۴۱	۳۴۶	۰/۶۳۷
۲۰	۱۵		-۱/۵	۲/۵۷	۳۲۷	۰/۶۸۰
۲۱	۱۰		-۱/۲	۲/۰۷	۳۱۸	۰/۶۹۱
۲۲	۱۷		-۰/۵	۰/۸۸	۳۳۱	۰/۶۴۶
۲۳	۱۷		-۰/۸	۱/۴۰	۲۸۵	۰/۷۴۷
۲۴	۱۸		-۲/۴	۴/۰۳	۳۴۸	۰/۶۵۹
۲۵	۱۰		-۲/۶	۴/۳۴	۲۴۰	۰/۸۴۸
۲۶	۷		-۲/۱	۳/۵۵	۲۷۲	۰/۷۹۳
۲۷	۱۱		-۰/۵	۰/۸۸	۳۴۵	۰/۶۱۳
۲۸	۱۰		-۰/۵	۰/۸۸	۲۸۶	۰/۷۳۹
۲۹	۱۲		-۲/۶	۴/۳۴	۲۰۶	۰/۸۹۲
۱	۷		-۳	۴/۹۶	۱۳۰	۰/۹۷۱
۲	۹		-۳/۵	۵/۷۱	۱۳۴	۰/۹۷۳
۳	۷		-۱/۷	۲/۹۰	۲۳۸	۰/۸۳۸
۴	۹		-۳/۵	۵/۷۱	۲۶۴	۰/۸۲۷
۵	۱۱		-۳/۱	۵/۱۱	۲۱۸	۰/۸۸۳
۶	۸		-۳/۲	۵/۲۶	۱۴۶	۰/۹۶۰
۷	۱۲		-۲/۵	۴/۱۸	۲۷۸	۰/۷۹۰
۸	۹		-۳	۴/۹۶	۱۹۹	۰/۹۰۵
۹	۶	V+L	-۱/۸	۳/۰۶	۴۲۰	۰/۴۶۶
۱۰	۸	V+L	-۳/۲	۵/۲۶	۴۰۷	۰/۵۵۰

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]

جدول ۲ نتایج ریزدماسنجی سیال‌های درگیر دارای CO_2 در رگه‌های کوارتز ازمعدن سفیدابه، (سامانه H_2O-NaCl-CO_2).

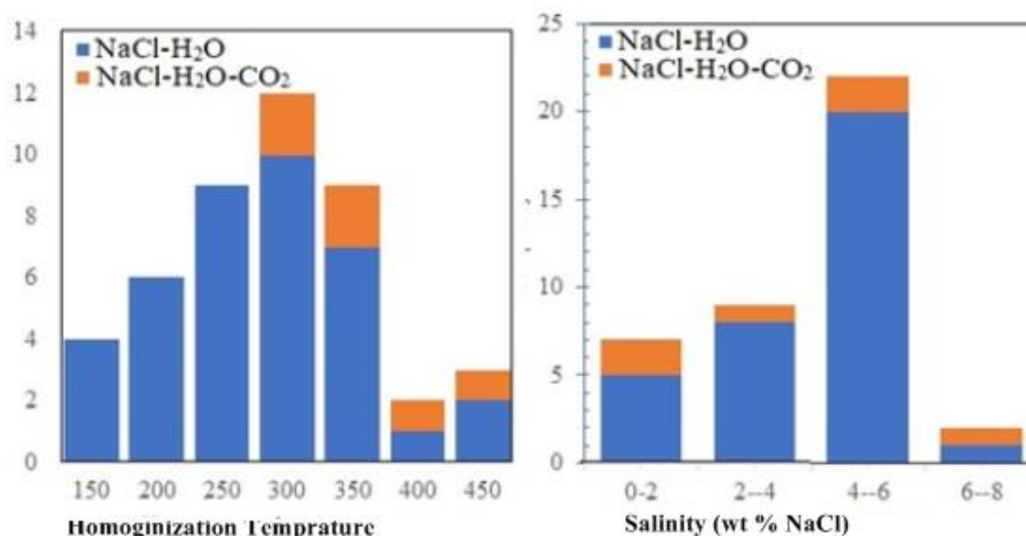
N	اندازه (μm)	$TmCO_2$ (°C)	TmClath (°C)	Thv-l CO_2	Th total ** (°C)	Est.Vol Frac CO_2	چگالی CO_2	شوری Wt %NaCl	چگالی کپه ای
۱	۱۱	-۵۹٫۶	۷٫۸	۲۰٫۵	۲۷۴	۳۵	۰٫۷۶	۴٫۲۵	۰٫۹۳
۱	۸	-۵۸٫۴	......	۲۵٫۴	......	۲۰	۰٫۷	.....	۰٫۹۳
۲	۱۳	-۵۷٫۸	۹٫۶	۲۵٫۱	۳۷۵	۳۰	۰٫۷۱	۰٫۸۲	۰٫۹۱
۳	۱۱	-۵۷٫۶	۹٫۳	۲۵٫۲	۴۰۸	۳۰	۰٫۷	۱٫۴۱	۰٫۹۱
۴	۱۳	-۵۹٫۳	۸٫۸	۱۱٫۳	۳۲۶	۳۵	۰٫۸۵	۲٫۳۸	۰٫۹۵
۵	۱۱	-۵۷٫۹	۶٫۸	۱۲٫۹	۳۲۸	۴۰	۰٫۸۳	۶٫۰۲	۰٫۹۶
TD (صدای ترکیدن)									

سیال‌های درگیر دو فازی در سامانه H_2O-NaCl

طی سرمایش، سیال‌های درگیر منجمد شدند و سپس با گرمایش، بیشتر آنها در دمای نزدیک ۲۱- درجه سانتیگراد شروع به ذوب شدن کردند و گستره دمای ذوب از ۳۰- تا ۲۱- درجه سانتیگراد متغیر است. مقدار شوری آنها در سامانه-H_2O NaCl محاسبه شد که از ۰٫۸۸ تا ۶٫۲ درصد معادل وزنی نمک طعام متغیر است، ولی داده‌های شوری بیشترین فراوانی را از ۴ تا ۶ درصد معادل وزنی نمک طعام دارند (شکل ۷ الف).

شوری سیال‌های درگیر دارای گاز دی اکسید کربن در سامانه -H_2O NaCl-CO_2

کمی از سیال‌های درگیر در گستره سفیدابه دارای دی اکسید کربن به صورت مایع و گازهستند. این نوع سیال‌های درگیر طی سرمایش و گرمایش به دلیل ظهور یا ناپدید شدن ۵ فاز (فازهای آب مایع، یخ، گازهای هیدراته یا کلاتریت چون CO_2 جامد، CO_2 مایع و گاز CO_2) با سیال‌های سامانه آب -نمک طعام متفاوت هستند. از این رو، سامانه HO_2-NaCl-CO_2 برای آن دسته از سیال‌های درگیری که در دمای اتاق دارای مقدار قابل توجهی CO_2 مایع و یک فاز آبگین هستند، به‌کار می‌رود [۲۴]. در اینجا برای محاسبه شوری از نمودار و معادله شیمیایی مرجع [۲۵] استفاده شد. با استفاده از منحنی انحلال کلاتریت‌ها (CDC) و منحنی ذوب یخ (IMC) و تعیین دمای ذوب آخرین قطعه کلاتریت یا یخ، می‌توان مقدار شوری را حساب کرد. مقدار شوری محاسبه شده بین ۰٫۸۲ تا ۶ درصد وزنی معادل نمک طعام است (جدول ۲ و شکل ۷ الف).



شکل ۷ الف) نمودار ستونی و ب) نمودار ستونی دمای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر در رگه‌های کوارتزی معادن آنتیموان سفیدابه و حیدرآباد.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]

دمای همگن‌شدگی

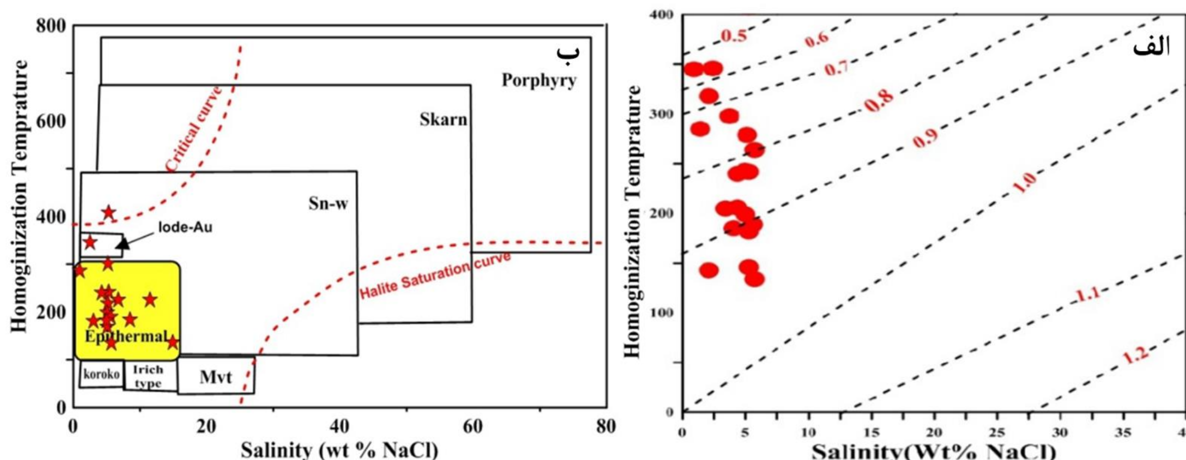
دماهای همگن‌شدگی در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده‌اند. دیده می‌شود که دماهای همگن‌شدگی در گستره ۱۳۰ تا ۴۲۰ درجه سانتیگراد قرار دارند. دمای همگن‌شدگی دو نمونه از سیال‌های درگیر دوفازی بالای ۴۰۰ ^{o}C بوده که مربوط به سیال‌های غنی از گاز هستند. بیشترین دمای همگن‌شدگی سیال‌های دو فازی غنی از مایع ۳۷۰ درجه سانتیگراد است. نمودار ستونی دمای همگن‌شدگی در شکل ۷ ب نشان داده شده است. بیشترین مقادیر در گستره ۲۵۰ تا ۳۵۰ درجه سانتیگراد قرار دارند. براساس داده‌های جدول ۲، کمترین دمای همگن‌شدگی برای سیال‌های درگیر دارای CO_2، ۲۷۴ درجه سانتی‌گراد و بیشینه آن ۴۰۸ درجه سانتی‌گراد است.

چگالی

یکی از پارامترهایی که امکان تعیین آن بر پایه داده‌های بدست آمده از بررسی ریزدماسنجی وجود دارد، چگالی است. بین چگالی و درجه پرشدگی نیز همبستگی وجود دارد. درجه پرشدگی به معنی نسبت حجم فاز مایع به حجم کل سیال درگیر است و از آنجا که سیال‌های درگیر مورد بررسی بیشتر از نوع سیال درگیر غنی از مایع هستند درجه پرشدگی آنها بالا و حدود ۹۷ درصد است. چگالی با غلظت نمک رابطه مستقیمی دارد، ولی از آنجا که سیال‌های درگیر مورد بررسی دارای شوری پایین هستند، چگالی آنها نیز پایین است. سیال‌های گازی چگالی پایین‌تری دارند. برای محاسبه چگالی راه‌های بسیاری وجود دارد که یکی از آنها نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی است (شکل ۸ الف). با معلوم بودن دمای همگن‌شدگی و ترکیب سیال، می‌توان چگالی کل را محاسبه کرد. برای محاسبه چگالی سیال‌های درگیر در رگه کوارتزی کانسار آنتیموان سفیدآبه از نمودار شوری- دمای همگن‌شدگی استفاده شد [۲۶]. با این نمودار می‌توان به همراه خطوط پربندی با چگالی ثابت، چگالی سیال را محاسبه نمود. چنان که دیده می‌شود، همه سیال‌های درگیر دارای چگالی کمتر از یک هستند. بنابراین سیال‌های با چگالی کم مسئول تشکیل رگه‌های معدنی در معدن سفیدابه بوده‌اند.

نوع کانسار $NaCl-H_2O-CO_2$

کانسارها در دما و فشارهای مختلفی تشکیل می‌شوند. بعضی از آنها چون کانسارهای ماگمایی ممکن است در دمای بیش از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و در عمق زیاد تشکیل گردیده، در حالی که بعضی از آنها مانند کانسارهای آبرفتی در دمای کم و در سطح زمین تشکیل می‌شوند. با جایابی داده‌های دمای همگن‌شدگی و شوری سیال‌های درگیر در نمودار مرجع [۲۷]، می‌توان نوع کانی‌زایی را مشخص نمود. در این نمودار، کانسارها در ۸ نوع مختلف رده‌بندی شده‌اند. براساس این نمودار و داده‌های بدست آمده برای سیال‌های درگیر در این بررسی و پژوهش‌های پیشین و با توجه به شواهد صحرایی و آزمایشگاهی، کانسارهای رگه‌ای آنتیموان سفیدابه و حیدرآباد شبیه کانسارهای فراگرمایی هستند (شکل ۸ ب). بر پایه شکل ۹ الف که گستره‌های انواع کانسارهای گرمابی مشخص شده است نیز، نمونه‌های مورد بررسی در گستره کانسارهای فراگرمایی قرار می‌گیرند.



شکل ۸ الف) نمودار شوری-دمای همگن شدگی با خطوط دارای چگالی ثابت برای تعیین گستره چگالی (خطوط هم چگالی از مرجع [۲۷]، ب) نمودار شوری-دمای همگن شدگی [۲۷] که براساس آن، بیشتر داده‌های سیال‌های درگیر در گستره کانسارهای فراگرمایی قرار دارند.

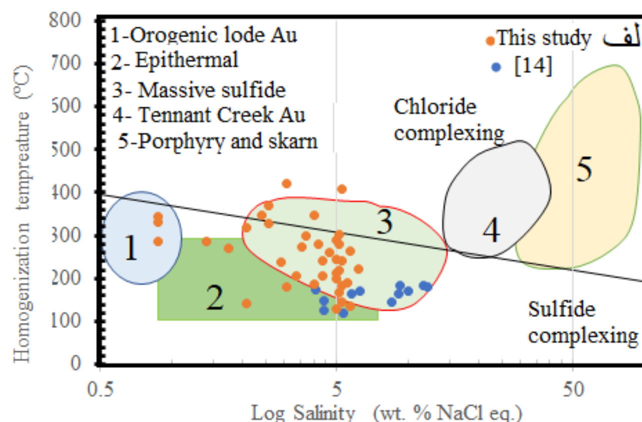
[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]

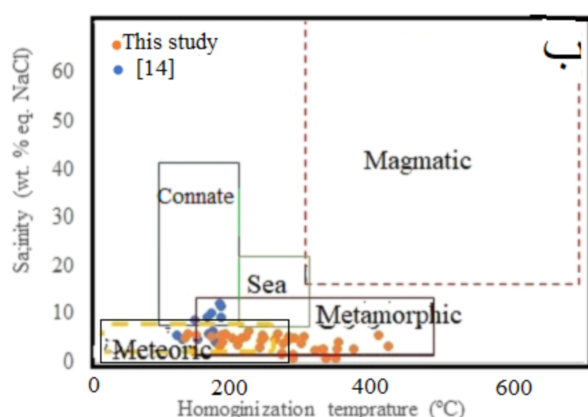
خاستگاه سیال

کانسارهای گرمابی از محلول‌های گرمابی با خاستگاه‌های مختلفی تشکیل می‌شوند. این سیال های که منبع آنها آب ماگما، آب جوی، آب دریا، آب سنگواره و آب دگرگونی است، دارای دما و شوری (ترکیب شیمیایی) متفاوتی هستند. با جایابی داده‌های مناطق مورد بررسی در نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی [۲۹]، می‌توان منبع سیال گرمابی مسئول کانی‌زایی آنتیموان را تعیین کرد. عناصر مختلف در سیال‌های گرمابی با کمپلکس‌های گوناگون حمل می‌شوند؛ برای مثال، کمپلکس‌های کلریدی در دما و شوری بالا و کمپلکس‌های سولفیدی در دما و شوری پایین پایدار هستند [۳۰]. به طور کلی، عناصر در محلول‌های گرمابی در اصل توسط انواع مختلف کمپلکس‌ها منتقل می‌شوند، به طوری که در این میان کمپلکس‌های سولفیدی و کلریدی مهمترین نقش را در انتقال فلزها دارند. در منطقه مورد بررسی، انتقال عناصر کانه ساز توسط کمپلکس‌های سولفیدی صورت گرفته است (شکل ۹ الف). کمپلکس‌های سولفیدی براساس جایابی داده‌های مناطق مورد بررسی در نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری [۲۹]، خاستگاه سیال گرمابی در معادن سفیدابه و حیدرآباد، آب‌های جوی و دگرگونی هستند (شکل ۹ ب).

تکامل سیال در کانسارهای آنتیموان در پهنه زمین‌درز سیستان

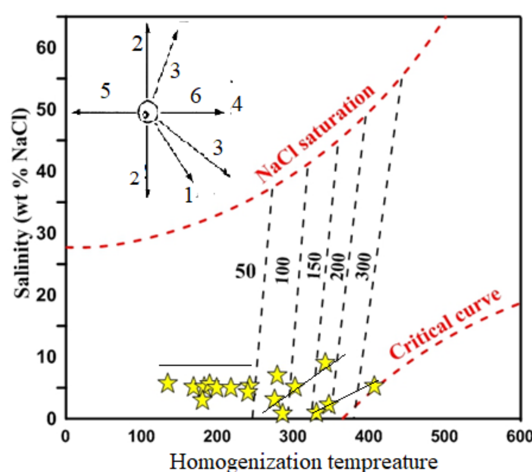
سیر دگرگونی سیال را نیز می‌توان از رسم درجه شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر بررسی کرد (شکل ۱۰). این تکامل با عوامل مختلفی کنترل می‌شود که هر یک از آنها روند متفاوتی را نشان می‌دهند [۲۴] (شکل ۱۰) که عبارتند از ۱) آمیخته شدن سیال با سیال‌های سردتر و شوری کم، ۲) آمیخته شدن سیال‌های هم دما با سیال با شوری متفاوت، ۳) جوشش سیال (عدد بالایی) و جوشش سیال‌های CO_2 دار (عدد پایینی)، ۴) سرد شدن ساده سیال‌ها، و ۵ و ۶) دم بریدگی و نشت میانبارها طی گرمشدن. بر اساس موقعیت نمونه‌های جایابی شده در شکل ۱۰ روند تکامل سیال‌ها در کانسار آنتیموان سفیدابه بیشتر در یک خط قرار دارد و هرچند دمای آنها تغییرات زیادی را نشان می‌دهد، ولی شوری آنها تغییرات چندانی ندارد. مهمترین مسیر به صورت افقی و موازی با محور افقی است که دلیل آن کاهش فشار به دلیل گرمایش و سرمایش یا نشت و انتشار است. روند غالب دیگر آمیختگی سیال گرمابی با سیال‌های سردتر و رقیق‌تر است. سیال‌های گرمابی اولیه نیز دارای شوری پایینی بودند؛ به احتمال بسیار سیال‌ها با خاستگاه آب دگرگونی که شوری کمی دارند با سیال‌های جوی رقیق و دما پایین آمیخته شده‌اند.





شکل ۹ الف) گستره‌های انواع کانسارهای گرمابی و تفکیک گستره کمپلکس‌ها در نمودار شوری-دمای همگن شدگی [۳۱] که براساس آن، بیشتر نمونه‌های مورد بررسی در گستره کانسارهای فراگرمایی قرار دارند؛ ب) نمودار دمای همگن شدگی- شوری که در آن گستره انواع آب‌هایی که منبع سیال های گرمابی هستند، مشخص شده است [۲۹].بر این اساس، نمونه‌های مورد بررسی در گستره آب‌های جوی و دگرگونی قرار دارند.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]



شکل۱۰ همراه با روندهای تکامل سیال در بالایی سمت چپ [۲۳] و خطوط همفشار در پایین [۳۲]. نمودار شوری نسبت به دمای همگن شدگی که داده‌های منطقه مورد بررسی بیشتر در راستای افقی و فشار کمتر از ۳۰۰ بار واقع هستند.

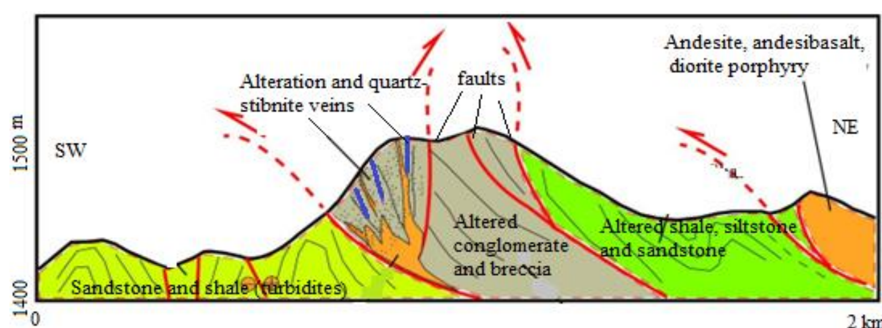
فشار، عمق و تکامل محلول گرمابی تشکیل دهنده کانسار

کمترین فشاری که یک سیال می‌تواند تحمل کند برابر با فشار بخار آن در هر دما و ترکیب معین است و بیشترین فشار بر این سیال نیرویی است که با سنگ‌های بالا و پیرامون آن وارد می‌شود. با در اختیار داشتن دمای همگن‌شدگی، شوری سیال و چگالی می‌توان مقدار فشار را محاسبه کرد [۲۴]. برای برآورد فشار از نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری همراه با خطوط همفشار استفاده شد (شکل۱۰). در این نمودار، داده‌های کانسار آنتیموان سفیدابه گستره وسیعی از فشار از ۱۰ تا ۳۰۰ بار را نشان می‌دهند. روشن است که بیشترین فشار ممکن ۳۰۰ بار بوده که نشان دهنده بیشینه عمق ۱۱۳۴ متر است. عمق (H) از رابطه $H=P/2.7*0.098$ بدست آمد که P فشار برحسب بار است با فرض اینکه این فشار، فشار سنگ ایستایی است، وزن مخصوص ۲٫۷ در نظر گرفته شده و عدد ۰٫۰۹۸ مربوط به شتاب ثقل است.

مدل کانه‌زایی

مدل کانی‌زایی و نیمرخ عمومی پهنه برشی سفیدابه در شکل ۱۱ آورده شده است. چنان که اشاره شد، کانه‌زایی آنتیموان در سفیدابه و حیدرآباد به صورت رگه‌های کوارتز-استیبنیت رخ داده است که با مقادیر کمی از کربنات و اکسید-هیدرواکسیدهای آنتیموان همراهی می‌شود. کانی‌زایی رگه‌ای نشان دهنده تشکیل آنها در گسل‌ها و شکستگی‌ها از سیال‌های گرمابی است. رگه‌های کوارتز- استیبنیت در واحد کنگلومرایی-برشی الیگوسن دیده می‌شوند. رگه‌های بسیاری در این واحد کنگلومرایی بدون کانی‌زایی هستند. همچنین در واحد کنگلومرایی، شبکه‌ای از شکستگی‌های ریز و داربستی وجود دارد که با رگچه‌های هیدروکسید آهن، کربناتی و سیلیسی پرشده است ولی آنها همراه با کانی‌زایی آنتیموان نیستند. کانه‌زایی آنتیموان فقط محدود به یک یا دو رگه در یک نوار باریک شمال‌غربی-جنوب شرقی است و جایی که پیشانی فرادیواره راندگی‌ها روی فرو دیواره شیلی-ماسه‌سنگی توربیدایت‌ها قرار گرفته، رخ داده است. این موارد بیانگر نقش کنترل کننده‌های ساختاری و سنگ‌شناسی و حتی شیمیایی بر کانی‌زایی هستند. کانه‌زایی از نوع گرمابی، روزادی و در پیشانی یک گسل رورانندگی با سطح محدب به سمت جنوب غرب رخ داده است. چنین ساختاری نشان می‌دهد که در طول این پهنه گسلی، مناطق تنگ و باز ایجاد شده‌اند و وقتی سیال از مناطق تنگ و بسته به مناطق باز وارد شده به دلیل کاهش فشار، ته نشست استیبنیت رخ داده است. به طور کلی دما، PH، گریزندگی اکسیژن و تمرکز سولفور احیایی مهمترین عوامل حلالیت آنتیموان و دیگر فلزها در کانسارهای گرمابی هستند [۳۳]. شواهد بسیاری گویای وجود یک سامانه زمین گرمایی قدیمی در منطقه هستند. موتور گرمایی این سامانه ماگماهای تشکیل دهنده سنگ‌های آذرین (سنگ‌های دیوریتی و آندزیتی الیگومیوسن) در منطقه بوده و باعث شده است که یک سامانه گرمابی شامل آب‌های مختلف جوی و دگرگونی تشکیل شود. چرخش و حرکت این سامانه گرمابی در گسل‌های منطقه باعث کانی‌زایی آنتیموان در شرایط مساعد شده است. از این شواهد می‌توان به ساخت‌های شانه‌ای و پوسته‌ای، حضور ژئودهای کوارتز در آندزیت‌های غنی از بلورهای آمفیبول و بافت پرکننده فضای خالی اشاره کرد. فراوانی کربنات‌ها (به ویژه کلسیت)، کوارتز و کلسدوئن از شواهد کانی‌زایی آنتیموان در یک سامانه فراگرمایی سولفیدشدگی پایین است.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]



شکل ۱۱ نیمرخ عمومی پهنه برشی کانسار سفیدابه که ارتباط واحدهای سنگی، گسل‌ها و کانی‌زایی را نشان می‌دهد.

برداشت

کانی‌زایی درونزاد آنتیموان در کانسار سفیدابه و حیدرآباد به صورت رگه‌های کوارتز-استیبنیت با بافت شکافه پرکن و با کنترل ساختاری در سنگ میزبان کنگلومرایی اولیگوسن رخ داده است. استیبنیت کانی اصلی سولفیدی در این رگه‌ها بوده که به همراه مقدار جزئی پیریت تشکیل شده است. کانی‌زایی برونزاد شامل سن‌آرمونتیت، والنتینیت، سروانتیت و استیبکونیت به همراه هماتیت، گوتیت، کانی‌های رسی و کربناتی هستند. مهمترین دگرسانی‌های همراه با کانی‌زایی آنتیموان در این کانسارها سیلیسی، کربناتی و آرژیلیک هستند. سیال‌های درگیر اولیه اندازه‌گیری شده شامل انواع دوفازی غنی از مایع با یک فاز بخار، دوفازی غنی از گاز و سه‌فازی با مایع CO_2 هستند. مقدار شوری سیال‌های درگیر دوفازی از ۰/۹ تا ۵/۷ درصد معادل وزنی نمک طعام تغییر می‌کند. گستره دمای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر دوفازی غنی از مایع و سه فازی دارای CO_2 به ترتیب از ۱۳۰ تا ۳۷۰ و ۲۷۴ تا ۴۰۸ درجه سانتیگراد است. دمای همگن‌شدگی سیال‌های درگیر دوفازی غنی از گاز ۴۰۷ تا ۴۲۰ درجه سانتیگرد است. از این رو، سیال‌های گرمابی در مناطق مورد بررسی، سیال‌هایی با گستره وسیعی از دمای همگن‌شدگی و شوری هستند که نشانگر وجود چند نسل سیال با خاستگاه‌های مختلف است. در کانی‌زایی آنتیموان، آمیختگی آب‌های مختلف به ویژه آب‌های جوی با سیال‌های دگرگونی نقش مهمتری داشته است. به طور کلی در دماهای بالای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، کمپلکس‌های کلریدی و در دماهای پایین‌تر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد کمپلکس‌های بی‌سولفیدی غالب هستند که در کانسار سفیدابه و حیدرآباد، کمپلکس‌های بی‌سولفیدی نقش اصلی را در انتقال آنتیموان در سیال‌های گرمابی داشته‌اند و کاهش دما و فشار و همچنین اثر برنولی (کاهش فشار در اثر برخورد سیال کانه‌دار با سطح گسل) مهمترین عوامل تەنشست استیبنیت در کانسار سفیدابه و حیدرآباد بوده‌اند. به طور کلی، کانسار آنتیموان سفیدابه و حیدرآباد به دلیل نوع کانه‌زایی رگه‌ای، نوع دگرسانی، درجه شوری، دمای همگن‌شدگی، ساخت و بافت کانسنگ، کنترل ساختاری، کانی‌شناسی و فراوانی کربنات‌ها به همراه کوارتز و کلسدوئن، یک کانسار رگه‌ای دیرزاد با کنترل ساختاری از نوع فراگرمایی با سولفیدشدگی پایین به شمار می‌رود.

قدردانی

این پژوهش با حمایت‌های مالی تهیه و تولید مواد معدنی ایران انجام شده است که نویسندگان به این وسیله قدردانی خود را اعلام می‌دارند. همچنین از داوران محترم مجله که نظر آنها باعث غنای این مقاله گردید، بسیار سپاسگذاریم.

مراجع

[1] Tan D., Long J., Li B., Ding D., Du H., Lei M., *"Fraction and mobility of antimony and arsenic* in *three polluted soils: A comparison of single extraction and sequential extraction"*. Chemosphere, 213, pp.533-540 (2018).

[2] Yang Z., Hou Z., Meng X., Liu Y., Fei H., Tian S., Li Z., Gao W., *"Postcollisional Sb and Au mineralization related to the South Tibetan detachment system, Himalayan orogeny"*, Ore Geology Reviews, 36: 194-212 (2009).

[3] Dill H. D., *"The chessboard classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium"*. Journal of Earth Science Review 100, 1–420 (2010).

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]

[4] Akcay M., Ozkan H.M., Moon C.J., Spiro B., *"Geology, mineralogy and geochemistry of the gold- bearing stibnite and cinnabar deposits in the Emirli and Halikoy areas (Odemis, Izmir, West Turkey)"*, Ore Geology Reviews 29 (2006) 19-51.

[5] Streck M.J., Grunder A.L., *"Compositional gradients and gaps in high-silica rhyolites of the Rattlesnake Tuff, Oregon"*. J. Petrol. 38 (1997) 133–163.

[6] Marzi M., *"Mineralogy, alteration and origin of Sb and Au mineralization in Sefidsang, South of Zahedan* (in persian)*"* The Thesis Master of Science, University of Sistan and Bluchestan, Zahedan, Iran, (2016).

[7] Boomeri M., *"Ore deposits and mineral indexes of Sistan and Baluchestan province*, (in Persian)*"* 6th Symposium of Economic Geology Society of Iran, University of Sistan and Bluchestan, Zahedan, Iran, (2015).

[8] Moradi R., Boomeri M., Bagheri S., Zahedi A., *"Determination of physical-chemical conditions and factors controlling mineralization using mineralography, paragenesis, relationship and fluid inclusion in stibinite-gold Shurchah deposit* (in persian)*"* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 23 (2016) 121-134.

[9] Moradi R., *"Style and origin of Sb and Au mineralization in Shurchah, southeast of Zahedan*, (in persian)*"*, The Thesis Master of Science, University of Sistan and Bluchestan, Zahedan, Iran (2012).

[10] Khorrami Z., *"Genesis of Baout antimonziy deposit, Eastern Iran* (in persain)*"* The Thesis Master of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahadan, Iran (2012).

[11] Boomeri M., Mojadadi Moghadam H., Biabangard H., *"Petrology and geochemistry of igneous rock and Sb and Au mineralization in Sefidsang and Dargiaban area (Southeastern Iran)* (in Persian)*"* Petrology 9th year, No. 35, Autumn (2018).

[12] Asadi Karam A. R., *"Investigation of Geochemistry, Fluid inclusion and Genesis of Sefidabeh antimony ore deposit* (in persian)*"*, The Thesis Master of Science, Teacher Training University, Tehran, Iran (2005).

[13] Farshidpoor J., *"Genesis of Sefidabeh Antimony ore deposit, Eastern Iran* (in Persian)" The Thesis Master of Science, University of Sistan and Bluchestan, Zahedan, Iran (2012).

[14] Saboori S., *"Mineralogy, geochemistry and genesis of Heydar abad antimony ore deposit, northwest of Zahedan* (in Persian)*"* The Thesis Master of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran (2017).

[15] Mojadadi Moghadam H., *"Geochemistry and geothermo-barometery of Antimony veins in the Sefidabeh, About, Lakhshak, Shurchah, Sefid-Sang and Dargyaban ore deposits, the Sistan suture zone, SE Iran, Sistan and Baluchestan province* (in Persian)*"*, The Phd Thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran (2019).

[16] Koohsari M., Boomeri M., Bagheri S., *"Structural controllers on Sefidabeh antimony mineralization, southest Iran* (in persian)*"* 24th Symposium of Geological Society of Iran (2022).

[17] Koohsari M., *"Controls of Sb mineralization in Sefidabeh, northwest of Zahedan, Sistan suture zone* (in Persian)*"* The Thesis Master of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran (2021).

[18] Hosseinpoor M., *"Remote sensing and lithogeochemical exploration of antimony and related elements in Sefidabeh and Heydar abad*, (in persian)*"* The Thesis Master of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran (2021).

[19] Tirrul R., Bell IR., Griffis R.G., Camp V.E., *"The Sistan suture zone of Eastern Iran"*. Geological Society of American, 94 (1983) 134-150.

[20] Boomeri M., *"Antimony mineralization controllers and its exploration solutions in Sefidabeh and Heydar abad and adjacent regions, Sistan suture zone, Sistan and Baluchestan*, (in persian)*"* University of Sistan and Baluchestan, (2020) 490p.

[21] Geological Organization of Iran*., "Report of geology map of kuh-seyasteregy with a scale of 1:10000"* (1991).

[22] Roedder E., *"Fluid inclusions"*, Reviews in Mineralogy 12 (1984) 644p.

[23] Goldstein R.H., *"Petrographic Analysis of Fluid Inclusions"*, In: I. Samson, A. Anderson, D. Marshall (Editors), Fluid inclusions: Analysis and interpretation, Mineralogical Association of Canada, Short Course Handbook 32 (2003) 9-53.

[24] Shepherd T., Rankin A.H., Alderton D.H.M., *"A practical guide to fluid inclusion studies"*, Blackie, Glasgow (1985) 239.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]

[25] Chen H.S., *"The thermodynamics and composition of carbon dioxide hydrate"*. The Thesis Master of Science, Syracuse University, Syracuse, New York. Vol, (1972). 67.

[26] Bodnar R. J., *"A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters* and *PVTX properties of inclusion fluid"*. Economic Geology. 78.3 (1983) 535: 542.

[27] Wilkinson J. J., *"Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits"* Lithos, 55(1): (2001) 229-272.

[28] Bodnar R. J., *"Revised equation and table for determining the freezing point depression of H2O-NaCl solutions."* Geochimica et Cosmochimica Acta, 57.3 (1993) 683-684.

[29] Kesler S.E., *Ore-Forming Fluids*. Vol, 1: (2005) 13-18.

[30] Barnes H.L., *"Geochemistry of hydrothermal deposits"*, 3th edition, Weily Interscience, New York: (1997) 517.

[31] Larg R., Huston D., McGoldrich P., McArthur G., Ruxton P., *"Gold distribution and genesis in Paleozoic volcanogenic massive sulphid systems"*. In Bicentennial Gold 88. Gol. Soc. Aust. Abst. Ser. 22: (1988) 121-126.

[32] Ahmad S. N., Rose A. W., *"Fluid inclusion in porphyry and skarn ore at Santa Rita, New Mexico."* Economic Geology 75.2 (1980) 229-250.

[33] Shafaroudi A., Karimpour M. H., *"Mineralogical investigations and thermometric of fluid inclusion in Sirzar antimony prospecting area, Northweat of Torbat Jam, South Khorasan Province*, (in Persian)*"* Journal of Crystallography and Mineralogy, 20 (2012) 565-582.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.509]